

一种基于区域特征的景象匹配算法研究*

李竹林, 张根耀

(延安大学 计算机学院, 陕西 延安 716000)

摘要: 景象匹配技术是飞行器匹配定位辅助导航系统的核心, 如何提高其正确匹配率一直是研究的热点与难点。提出一种基于区域特征的景象匹配算法。首先, 提取基准景象和实时景象的稳定极值区域, 并计算出区域的灰度、形状、纹理以及起伏程度特性作为相似性度量的主要因素构造相似性度量函数; 然后, 计算区域对的 Hausdorff 距离, 决定是否是对应区域。大量的模拟实验表明, 该算法的匹配时间能达到 0.138 s, 正确匹配率达到 92.67%, 不仅能满足景象匹配的要求, 且大大提高了匹配的时间与正确率, 对导航系统的定位具有实用价值。

关键词: 区域特征; 景象匹配; Hausdorff 距离

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)09-3578-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.101

Research of scene matching algorithm based on regions

LI Zhu-lin, ZHANG Gen-yao

(Institute of Computer Science, Yan'an University, Yan'an Shaanxi 716000, China)

Abstract: Scene matching is core technology of the vehicle matching aided navigation system. Improving the correct matching rate is the difficult point and hotspot in research. This paper proposed a scene matching algorithm based on regions feature. Its basic method was: extracting the regions feature of the reference image and real image and computing the gray value, shape parameter, texture information and variance of region as the decisive factors to design the similarity measurement function firstly; then computing the Hausdorff distance of the region pair to decide whether corresponding regions or not. Plenty simulation experiments show that the matching time may achieve 0.138 s, the best correct matching rate is 92.67%. The result shows the algorithm not only meets the requirements of the scene matching, but also improves the matching time and correct rate greatly, and has practical value for the positioning of the navigation system.

Key words: region feature; scene matching; Hausdorff distance

景象匹配技术是一种基于景象基准图数据的自主式导航定位技术, 是飞行器匹配定位辅助导航系统的核心。它利用飞行器装载的图像传感器在飞行过程中采集实时景象图, 与预先制备的基准图进行实时匹配, 计算出导航定位的相关信息^[1]。但由于成像时的天气、时间、空间等自然条件的变化, 成像传感器和成像姿态差异等方面的原因, 使得基准图与实时图之间存在着较大的差异, 增大了匹配的难度。因此, 如何提高景象匹配算法的效率和正确匹配率是研究景象匹配技术的热点与难点^[2,3]。景象匹配算法主要分为三类^[2,4]: a) 基于灰度的匹配技术; b) 基于特征的匹配技术; c) 基于解释的匹配技术。基于解释的匹配技术还不成熟。基于灰度的匹配技术不仅计算量大, 而且当成像时的光照有差别时, 匹配误差太大, 因此多用于同源图像且拍摄环境变化不大的情况。基于特征的匹配技术在景象匹配中效果较好。

目前, 国内外对基于特征的景象匹配算法的研究多数是基于特征点的匹配方法。事实上, 区域特征包含更多的信息, 可区分性更强, 因此也有人提出基于区域特征的景象匹配方法, 如文献[5]以区域的灰度为主要因素进行匹配, 但当实时图与基准图的灰度差别较大时, 误匹配率较高。本文研究一种基于区域特征的景象匹配算法, 以区域的灰度、形状、纹理以及起伏程度

特性作为相似性度量的主要因素, 大大提高了正确匹配率。

1 区域检测算法

在景象匹配中, 所关心的并不是实时图和基准图中所有像素的对应关系, 而是判断图像中是否包含打击目标。因此, 通常对基准图中已提取的区域先进行人工交互判别, 对有意义的标志性区域作标记。这样, 只需在景象匹配时, 在实时图中寻找对应的区域即可。

根据景象匹配技术的需求, 本文对 Matas 等人^[6]提出的 MSER 算法进行了研究应用。Matas 等人提出了稳定极值区域 (MSER) 提取算法, 其思想是所提取的最大稳定极值区域内的所有像素亮度比区域边界外的像素亮度高或低。

设卫星图像的像素值为 $I(i, j)$, 若

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 I(i, j)}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 I(i, j)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 I(i, j)}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 I(i, j)}{\partial y^2} \end{vmatrix}_{i=i_0, j=j_0} > 0 \quad (1)$$

则 I 在 (i_0, j_0) 处取得极值, 且当 $\frac{\partial^2 I(i, j)}{\partial x^2} > 0$ 时, 取极小值; 当

收稿日期: 2012-01-30; **修回日期:** 2012-03-13 **基金项目:** 陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8004-7); 陕西省教育厅专项科研计划资助项目(2010JK904)

作者简介: 李竹林(1972-), 女, 陕西佳县人, 副教授, 博士, 主要研究方向为数字图像处理(ydlizhulin@163.com); 张根耀(1967-), 男, 陕西宜川人, 教授, 博士, 主要研究方向为数字图像处理。

$\frac{\partial^2 I(i,j)}{\partial x^2} < 0$ 时,取极大值。

2 景象匹配算法

在前视制导方式下,弹载终端在时间 t 内,对地形或目标进行拍摄形成实时序列图来表征目标的影像。其中序列影像的拍摄时间间隔 Δt 足够小。按照序列影像的先后时序与预先装载的基准图进行匹配,当重叠区域大于 90% 以上时,认为匹配成功。可以描述为:设基准图为 I_i , 3D 实时序列为 I'_n , $I'_{i2}, \dots, I'_{im}$, 匹配需要满足条件 $I_i \in \bigvee_{j=1}^m I'_{ij}$, 其中, $i = 1, 2, \dots, l$; $m = 1, 2, \dots, k$ 。

2.1 区域特征的描述

1) 平均灰度

设 $M \times N$ 区域的平均灰度为

$$\bar{I} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i,j) \quad (2)$$

其中: $I(i,j)$ 为像素点 (i,j) 的灰度值。

2) 仿射不变矩

给定离散化的数字图像 $f(x,y)$, 其 $p+q$ 阶矩定义为

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x,y) \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

将一阶矩用零阶矩归一化后即得到目标区域的灰度质心坐标为

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{m_{10}}{m_{00}} = \frac{\sum_x \sum_y x f(x,y)}{\sum_x \sum_y f(x,y)} \\ y_0 &= \frac{m_{01}}{m_{00}} = \frac{\sum_x \sum_y y f(x,y)}{\sum_x \sum_y f(x,y)} \end{aligned} \quad (4)$$

以灰度质心为坐标原点的矩称为中心矩,即

$$u_{pq} = \sum_x \sum_y (x - x_0)^p (y - y_0)^q f(x,y) \quad (5)$$

为了使中心矩不随比例缩放而变,进行归一化处理,可以得到归一化的不变矩为

$$\eta_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{00}^r} \quad (6)$$

其中: $r = (p+q)/2$, $p+q = 2, 3, \dots$ 。

Flusser 等人用不大于三阶的矩构造了三个不变矩组^[7]:

$$\begin{aligned} J_1 &= (\eta_{20} \eta_{02} - \eta_{11}^2) / \eta_{00}^4 \\ J_2 &= (\eta_{30}^2 \eta_{03}^2 - 6 \eta_{30} \eta_{21} \eta_{12} \eta_{03} + 4 \eta_{30} \eta_{12}^2 + 4 \eta_{21}^3 \eta_{03} - 3 \eta_{21}^2 \eta_{12}^2) / \eta_{00}^{10} \\ J_3 &= [\eta_{20} (\eta_{21} \eta_{03} - \eta_{12}^2) - \eta_{11} (\eta_{30} \eta_{03} - \eta_{21} \eta_{12}) + \eta_{02} (\eta_{30} \eta_{12} - \eta_{21}^2)] / \eta_{00}^7 \end{aligned} \quad (7)$$

大量实验表明,仿射不变矩在图像发生仿射变换的情况下,仍可清晰地表征图像特性,所以利用仿射不变矩可以识别形状发生变化的局部区域。

3) 纹理信息熵

设区域中相距位置为 $(\Delta x, \Delta y)$, 且其灰度值差的绝对值 $|h - k|$ 的像对出现的次数记为 m_{kh} , 其熵信息可以表示为^[8]

$$f_{\text{ENT}} = - \sum_h \sum_k m_{kh} \log m_{kh} \quad (8)$$

用式(8)计算已确定的初始对应区域的纹理信息熵。熵的绝对值越大,图像所含信息越多,就越有利于匹配;反之则不利于匹配。

4) 方差

图像的方差反映了图像诸元素的离散程度和整个图像区域总的起伏程度。对一些诸如地形地貌等非平面影像,通常用卫星照片或航空照片,其成像过程基本上可以认为是平行光源照射形成的,不存在地面上高的景物对低空景物的遮挡问题,也不存在透视失真问题,所以可作为 $M \times N$ 区域的不变属性,其方差 V (variance) 描述如下^[1]:

$$V = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - \bar{I}(i,j)]^2 \quad (9)$$

其中: $I(i,j)$ 为像素点 (i,j) 的灰度值, $\mu(I(i,j))$ 为区域的灰度均值。如果图像灰度分布是均匀的,即非起伏的,则图像方差小,这样匹配时就难以找到正确的匹配点。

综以上四方面的区域特征描述,即区域灰度、区域形状、区域纹理以及区域总的起伏程度,作为景象匹配时的主要决定因素,增强匹配的适应性与准确性,提高了匹配的正确率。

2.2 相似性度量函数

在景象匹配中,由于实时图和基准图成像的环境因素变换有可能很大,灰度信息不能作为主要的判别属性。因此,再加上仿射不变矩、方差、纹理信息熵等六个属性值构成区域的特征矢量 $\lambda = \{\bar{I}, J_1, J_2, J_3, V, f_{\text{ENT}}\}$ 用于度量区域的相似性。

Hausdorff 距离是匹配点特征的一种方法,它不需要建立点之间的一一对应关系,只是计算两个点集之间的相似程度(最大距离),所以可以有效地处理很多特征点的情况^[9]。本文的匹配单元是区域,为了提高匹配的准确性,计算了区域的六属性变量,可作为 Hausdorff 相似性度量的点集。因此选择 Hausdorff 距离作为度量方法可以提高匹配正确率与实时性。

给定两个有限点集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 和 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_q\}$, 则 A, B 间的 Hausdorff 距离 $H(A, B)$ 为

$$H(A, B) = \max \{h(A, B), h(B, A)\} \quad (10)$$

其中: $h(A, B)$ 和 $h(B, A)$ 分别为 $A \rightarrow B$ 与 $B \rightarrow A$ 的有向 Hausdorff 距离,计算如式(11)

$$\begin{aligned} h(A, B) &= \max_{a \in A} [\min_{b \in B} (\|a - b\|)] \\ h(B, A) &= \max_{b \in B} [\min_{a \in A} (\|b - a\|)] \end{aligned} \quad (11)$$

其中:符号 $\|\cdot\|$ 为定义在点集 A 和 B 上的某种距离范数,如欧氏距离。在这里,为了快速计算,把区域的六个属性值作为点集的抽象,即 $A = \{\bar{I}_1^A, J_1^A, J_2^A, J_3^A, V^A, f_{\text{ENT}}^A\}$ 和 $B = \{\bar{I}_1^B, J_1^B, J_2^B, J_3^B, V^B, f_{\text{ENT}}^B\}$ 。

2.3 匹配算法描述

1) 基准图的处理

- 对基准图进行去噪、增强、剪裁等预处理;
- 对预处理后的基准图进行高斯平滑,形成多尺度图像;
- 检测基准图的稳定极值区域;
- 通过人机交互的方式对具有标志性的区域作标记;
- 计算基准图中已标记区域的特征矢量 $\lambda = \{\bar{I}, J_1, J_2, J_3, V, f_{\text{ENT}}\}$ 。

2) 景象匹配算法描述

- 检测出实时图中的特征区域;
- 计算实时图中检测到的区域特征矢量 $\lambda' = \{\bar{I}', J_1', J_2', J_3', V, f_{\text{ENT}}'\}$;
- 计算 $H(A, B)$ 的值,用 Hausdorff 距离法实现实时图与基准图间的匹配;
- 若 $H < \delta$ (δ 为给定的阈值),则说明匹配成功,转 e); 否则,

若实时图序列不为空,取下一张实时图像,重新执行 a) ~ d);

e)结束。

3 实验结果分析

对图 1(a) ~ (c)中的示例图进行模拟实验,基准图中的五个标志性区域见(f),其属性值的实验数据见表 1 所示,表 2 给出景象匹配的正确率。

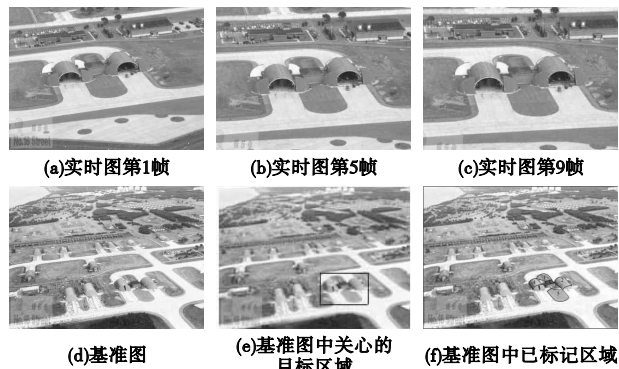


图1 实时图序列和基准图

表 1 基准图中标记区域的属性值

区域	$\bar{I}$	J_1	J_2	J_3	V	f_{ENT}
R_1	114.75	695.36	49349.6	802.72	165.82	-5.7403
R_2	91.82	195.36	29041.9	450.32	605.89	-12.398
R_3	150.45	804.32	69599.3	1098.13	512.37	-1.8460
R_4	93.09	214.87	29054.6	464.09	612.09	-11.759
R_5	119.85	679.75	49317.8	843.54	179.23	-6.0137

表 2 本文算法实验结果

目标区域	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
Hausdorff 距离值	31.87	29.51	18.93	29.63	25.09
实验次数	150	150	150	150	150
成功次数	126	128	139	130	134
正确匹配率/%	84.00	85.33	92.67	86.67	89.33

在 AMD Phenom 9150e Quad-core 处理器处理器,2 GB 内存的计算机上用 MATLAB 7.0 环境进行了仿真实验。由于不变矩的值较大,根据经验值给定的 Hausdorff 距离阈值为 35,本文算法最佳匹配平均时间可达到 0.138 s,最差为 1.074 s;最佳正确匹配率为 92.67%,满足了前视景象匹配的基本要求^[1]。

用文献[5]的方法对图 1 所示的示例图用同样的实验平台进行模拟实现,最佳匹配平均时间可达到 0.107 s,最差为 0.962 s,实验与正确匹配次数如表 3 所示。

表 3 文献[5]算法的实验结果

目标区域	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
实验次数	150	150	150	150	150
成功次数	126	128	139	130	134
正确匹配率/%	79.10	80.25	87.12	82.53	85.74

对比分析,对于模拟实验中的图例,本文算法在匹配的准确度上显明优于文献[5]。原因在于本文除了区域的灰度外,还将形状、纹理信息以及方差均为匹配度量因素,因此提高了匹配的正确率。但这是以时间为代价的,这是由于计算区域的 6 个属性值比只计算灰度耗时。

此外,由于采用了基于灰度、形状、纹理等多属性的 Haus-

dorff 距离度量法,算法不再主要依赖于灰度作为判别因素。因此,对图像的亮度变换的适应性大大增强。对于灰度发生变换的图例(如图 2 所示,图中只给出原图及亮度增加 10 lx 与 60 lx 的图例)进行实验,实验数据如表 4 所示,两者的正确匹配率曲线关系如图 3 所示。

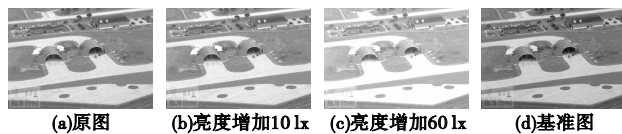


图2 一组亮度不同的图像(增加量为勒克司(lx))

表 4 对图 2 所示的图例实验结果

目标区域	原图	$L+10\text{ lx}$	$L+20\text{ lx}$	$L+30\text{ lx}$	$L+40\text{ lx}$	$L+50\text{ lx}$	$L+60\text{ lx}$
实验次数	300	300	300	300	300	300	300
原算法成功次数	290	281	270	261	245	225	206
本文算法成功次数	291	288	286	277	270	264	255
原算法正确匹配率/%	96.67	93.67	90.00	87.00	81.67	75.00	68.67
本文算法正确匹配率/%	97.00	96.00	95.33	92.33	90.00	88.00	85.00

表 4 中的 L 为原图的光照亮度, $L+10\text{ lx}$ 为亮度在原 L 的基础上增加 10 lx(勒克司),依此类推。

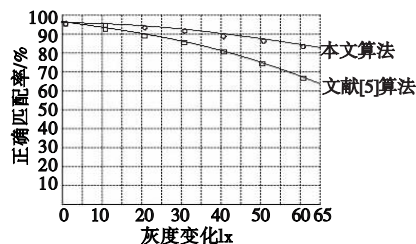


图3 两种算法的正确匹配率比较曲线

4 结束语

本文利用区域的灰度、形状、纹理以及起伏程度特性,提出一种基于区域特征的景象匹配算法,解决了实时景象与基准图景象的区域块匹配问题。实验表明,该方法的正确匹配率与平均匹配时间均可达到要求,对立体视觉技术的研究与实际应用均具有一定的价值,有一定的实用性。对算法的适应性分析是下一步的工作。

参考文献:

- [1] 曹菲. 景象匹配制导基准图选定准则研究[D]. 西安:第二炮兵工程学院,2006.
- [2] 郭勤. 景象匹配技术发展概述[J]. 红外与激光工程,2007,36(增刊):57-61.
- [3] 王刚,段晓君,王正明. 基于图像区域相关的景象匹配概率与精度研究[J]. 宇航学报,2009,30(3):1237-1242.
- [4] 李竹林. 立体匹配技术研究及其在导弹精确制导中的应用[D]. 西安:第二炮兵工程学院,2008.
- [5] 施卫国,慈林林,王文海. 一种实用的提高景象匹配可靠性的方法[J]. 火力与指挥控制,2008,33(S2):174-176.
- [6] MATAS J, CHUM O, URBAN M, et al. Robust wide baseline from maximally stable extremal regions[J]. Image and Vision Computing,2004,22(10):761-767.
- [7] FLUSSER J, SUK T. Pattern recognition by affine moment invariants[J]. Pattern Recognition,1993,26(1):167-174.
- [8] 孙即详. 图像分析[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [9] 牛力丕,毛士艺,陈炜. 基于 Hausdorff 距离的图像配准研究[J]. 电子与信息学报,2007,29(1):35-38.